Aus der Chirurgischen Universitätsklinik Marburg-Lahn
(Direktor: Prof. Dr. Klapp).

Ueber die Einwirkung von Zug- und Druckverlauf bei Entstehung und Heilung der Frakturen,

dargestellt durch Harzschicht-Bruchlinien.

INAUGURAL-DISSERTATION
ZUR ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE
IN DER GESAMTEN MEDIZIN DER
HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT DER
PHILIPPS-UNIVERSITÄT ZU MARBURG

vorgelegt von

FRANZ LACKMANN
Medizinalpraktikant aus Wolbeck i. Westf.

MARBURG-LAHN 1938
DRUCKEREI HERMANN BAUER

Von der Medizinischen Fakultät der
Philipps-Universität Marburg-Lahn
angenommen am 18. 2. 1938.

Referent: Prof. Dr. Klapp.

Gedruckt mit Genehmigung der Fakultät.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen lieben Eltern!

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547922_0129

Der Bruch eines Knochens hat immer eine mechanische Einwirkung von Zug oder Druck zur Voraussetzung. Gewöhnlich sind es dynamische Kräfte, die bei einer Torsion, einer Abknickung, bei plötzlichem Muskelzug oder einem Schlag gegen den Knochen eine Continuitätstrennung hervorrufen. Bei Spontanfrakturen infolge pathologisch veränderten Knochengewebes ist oft die statische Belastung das auslösende Moment. Solchen Zug- und Druckfaktoren in normalen Grenzen Widerstand zu leisten oder deren Kräfte weiter zu übertragen, ist die eigentliche Aufgabe des Knochens. Daß er diesen oft recht hohen Anforderungen gerecht wird, liegt in seinem Bau und seiner Struktur begründet. Der Oberschenkel ist in dieser Hinsicht wohl der interessanteste Knochen, um an ihm den Kraftfluß zu studieren und darzustellen; denn der Verlauf der Spannungen, die bei Biegung, Scherung oder Torsion auftreten, ist nicht nur theoretisch und anatomisch von Interesse, sondern bietet auch für manche Krankheitsentstehung des Stützapparates und die Therapie praktische Hinweise. Nur zwei Versuche seien hier genannt, die die Notwendigkeit einer genauen Kenntnis der Dehnungslinien dartun sollen.

Martin untersuchte am Vorderlauf eines Hundes die Pseudarthrosenbildung. Er schnitt aus dem Radius ein ringförmiges Stück Knochen heraus, sodaß die beiden Fragmente nur durch das Mark verbunden waren. Nach einiger Zeit fand er der Trennungsstelle gegenüber in der Ulna eine Aufhellung, die von lateral nach medial allmählich fortschritt und in drei Monaten zur Fraktur der Ulna führte. Man hielt zunächst diese Umbauzone der Ulna durch Toxine des am Radius sich bildenden Callus bedingt. Heute kann man durch die später geschilderte Methode nachweisen, daß sich gerade der Radiusfraktur gegenüber in der Ulna die Spannungslinien häufen und diese Stelle der Ulna in hohem Maße überbeansprucht wird.

Einen zweiten Versuch beschreibt Krompecher. Er fand, daß die normale Knochenentwicklung bei Druckeinwirkung nach knorpeliger Praeformation vor sich geht. Ist der Knochen jedoch Zugkräften ausgesetzt, so entsteht er auf endesmalem Weg. Ebenso konnte er bei Callusbildung aus

dem noch nicht differenzierten Granulationsgewebe durch Zug oder Druck entweder auf bindegewebigem oder knorpeligem Wege Knochen sich bilden lassen.

Sollten diese Experimente an sich auch nur zunächst theoretische Fragen klären, so zeigen sie doch, daß der Knochen nicht ein starres Gefüge ist, sondern genau wie jedes andere Organ sehr fein auf funktionelle Reize reagiert, sei es durch Abbau oder Festigung des Gewebes.

Schon seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts hatten daher solche und ähnliche Versuche die Arbeit zahlreicher Forscher angeregt, die Art und Größe der Spannungs- und Dehnungskräfte und deren Richtung und Angriffspunkte am Knochen zu ermitteln. Als einer der Ersten sprach Julius Wolf die Vermutung aus, daß sich bei Aenderung der Inanspruchnahme die innere Architektur des Knochens umwandle und zwar durch einen funktionellen Reiz. So schloß er dann von der Dichte und Dicke der Knochenbälkchenzüge auf den Verlauf der Zug- und Druckkräfte.

v. Meyer und Culmann versuchten das technische Problem des Kraftflusses im Knochen durch Berechnung zu lösen und schnitten damit viele neue Fragen der Knochenkonstruktion an. Doch der Vergleich des Femurbaues mit einem Kran war zu einfach und gestattete höchstens im Frontalschnitt eine Berechnung der Spannungstrajektorien, da hier die Bälkchenzüge einem Krane ähnlich verlaufen, nicht aber auf Schnitten in einer anderen Ebene. Auch die Gummimodelle nach Roux geben nicht den wahren Verlauf wieder, da die Angriffspunkte zu sehr verschoben werden. Hanausek hatte recht, wenn er damals trotz aller Versuche zugab, daß es augenscheinlich sei, daß aus der äußeren Architektur des Knochens bisher nicht auf die statischen in dem Knochen wirkenden Kräfte geschlossen werden könne.

An einem Glasmodell die Kraftlinien mittels polarisierten Lichtes darzustellen, ist sehr ungenau; denn es läßt sich wohl die äußere Knochengestalt nachformen, aber nicht die verwickelte innere Struktur. Zudem kann das polarisierte Licht nur die Dehnungen in einer Ebene anzeigen.

Am Knochen selbst machte Rhumbler einen Versuch. Er überspannte einen Längsschnitt straff mit Tüllgewebe und bog dann den Knochen. An der Verformung der Maschen sah er die einzelnen Wirkungszonen.

Einen großen Schritt weiter kam man erst, als Benninghof durch Spaltlinien am entkalkten Knochen die Zugrichtung der Osteonenbündel nachwies. Die kleinen, runden Lö-

cher, die er in den Knochen gebohrt hatte, gingen bei Beanspruchung des Knochens, der jeweils bedingten Zugrichtung entsprechend, in längliche Spalten über. Und somit konnte er an jedem Knochen den Verlauf von Druck- und Zugkräften festlegen. Weiterhin wies Benninghof nach, daß man den Knochen bezüglich seines Kraftflusses als einen Hohlkörper auffassen kann; denn irgendwo am Mantel des Knochens in der Compacta greifen die Kräfte an. Die Spongiosabälkchen übertragen diese von einer Seite zur anderen und setzen sich dann in den Osteonenzügen fort. Wie die Uebertragung der Kraft in der Spongiosa verläuft, ist weniger wichtig, wenn man die Angriffsflächen an der Compacta zur Darstellung bringen kann, zumal der Knochen in der Mitte des Schaftes sowieso mit einem Rohr verglichen werden kann.

Küntscher ist es nun vor einigen Jahren gelungen, ein Verfahren aus der Technik zu übernehmen und anzuwenden, mit dem er sämtliche Zug-, Schub- und Druckkräfte, die am Knochen angreifen, darstellen kann. Der Vorteil ist der, daß der Knochen nicht entkalkt werden braucht und, um ein möglichst natürliches Bild der Vorgänge zu bekommen, können sogar einzelne Muskelansätze und die Gelenkkapsel ruhig stehen bleiben. Das Verfahren ist von den Maybach-Motorenwerken durch Dietrich und Lehr 1930 herausgebracht. Dort werden ganze Eisenblocks zwecks Materialprüfung mit einer Harzschicht überzogen. An Stellen geringeren Widerstandes oder bei Gußfehlern reißt die Harzschicht dort, sobald das Eisen beansprucht wird, ein. Die allerersten, schon bei geringer Inanspruchnahme entstehenden Sprünge stellen die Spannungsspitzen und somit die schwächsten Stellen dar. Diese ersten und auch alle weiteren, in der Nähe infolge der Dehnung entstehenden Risse nennt man Dehnungslinien.

Die Anwendung dieser Methode durch G. Küntscher haben wir nachgeprüft und fanden beim Vergleich der von ihm veröffentlichten Abbildungen und Beschreibungen ein fast völlig gleiches Ergebnis mit unseren Versuchen.

Die Mittel zur Durchführung der Versuche sind leicht zu beschaffen. Man benötigt einige Kilogramm Kolophonium depuratum und als Objekt die entsprechenden Knochen, die man untersuchen will.

Das Harz ließen wir ohne Wasserbad in einem Topf solange schmelzen und erhitzen, bis Bläschen aufstiegen. Das kochende Kolophonium gossen wir nun wegen der Länge der Röhrenknochen in eine hohe Blechdose und prüften mit einem Holzspatel die Konsistenz des Harzes, die in dem Augenblick,

wo keine Bläschen mehr entstanden und das Harz eine Spur dickflüssiger zu werden begann, am günstigsten war. Wir tauchten nun einen Oberschenkelknochen in diese Masse etwa 15 Sekunden ein, indem wir ihn an den Condylen hielten. Schon nach einer halben Stunde war der Ueberzug erkaltet. Inzwischen gossen wir das Kolophonium zu weiteren Versuchen in den Topf zurück. Die Lackschicht haftet nun äußerst fest an dem Knochen und springt nicht leicht ab. Die Druckfestigkeit ist jedoch trotz großer Elastizität sehr gering. Um diese zu prüfen, kann man leicht aus der flüssigen Harzmasse einen langen Faden ziehen und ihn auch bis zum Halbkreis biegen; aber bei dem geringsten Versuch, ihn einige mm zu dehnen, reißt er. Diese Tatsache ist schon für die Zimmertemperatur, die am günstigsten bei 25 bis 30 Grad Cels. ist, wichtig; denn mehrmals bekamen die Knochen schon beim Oeffnen der Tür, aber auch beim Eintauchen in etwas zu kühles Wasser beim Photographieren, ungewollt Sprünge und Risse. Genauer berechnet ist bei einer Strecke von 1 mm eine Dehnung um 0.001 mm nötig, einen Riß zu bewirken. Das erkaltete Femur stellten wir nun auf eine Gummiplatte, die die knorpelige Gelenkfläche der Tibia ersetzen sollte und belasteten mittels einer einfachen Vorrichtung den Oberschenkelkopf. Diese Belastung wirkt als Biegebeanspruchung auf den Schenkelhals, als Druck auf die Condylen. Schon bei 25 bis 30 kg traten Spannungen auf, die zu kleinen Einrissen in der Harzschicht führten, da sich der Knochen dehnt, nicht aber der Ueberzug. Diese ersten sogenannten Zugspannungsspitzen traten oben auf dem Schenkelhals ziemlich in der Mitte auf und verlängerten sich bei vermehrtem Druck reitend nach beiden Seiten und bogen in die Schaftrichtung ein. Gleichzeitig traten noch mehrere Bruchlinien, sowohl zum Schenkelkopf wie zum Trochanter maior hin, parallel der ersten auf. Bei stärkerer Belastung zeigte sich ein zweites Linienbündel am Schaft des Femur. Die ersten Risse, die sogenannte zweite Zugspannungsspitze, zeigten sich hier am lateralen Teil des Femurschaftes unterhalb des Trochanter maior. Diese umkreisten den Schaft nach vorn und hinten bis zur Mittellinie, um dann vorn, in der Mitte, der Achse des Schaftes entlang, nach unten und hinten nach oben hin abzubiegen. Die Parallelrisse, die auftraten, hatten den gleichen Verlauf. So häufig wir die Versuche auch wiederholten, stets traten diese Dehnungslinien an der gleichen Stelle auf, selbst wenn wir den Schaft nach rechts oder links stark zur Seite neigten, wie es bei Abduktion des Beines häufig der Fall sein kann.

Um nun außer den Zug- auch die Druckkomponenten zu erfassen, kehrte Küntscher sein Verfahren um, da beim Zusammenstauchen des Knochens der Lack stellenweise abspringt. Bei diesen Versuchen spannte er zunächst den Knochen mittels einer Holzschraube ein, oder er belastete den Schenkelkopf eines am unteren Teil einzementierten femurs. Dann trug er mit einem Pinsel den Lack auf. Wir haben aber auch hier zuerst den Knochen in das Kolophonium eingetaucht und ihn dann sofort belastet. In dieser Druckstellung erkaltete das Femur. Wurde nun allmählich das Gewicht verringert, so traten an der Unterseite des Schenkelhalses, 1 bis 2 cm oberhalb des trochanter minor, einige Risse auf; es ist die Stelle der sogenannten Druckspannungsspitze, die sich bis zur Achse des Halses nach beiden Seiten verlängerte, wenn die Belastung ganz aufgehoben wurde. Auch hier traten der ersten Linie parallel noch zahlreiche weitere Risse auf. Das ganze Spannungsbündel zeigt nun auf indirekte Weise die Hauptangriffsstellen des Druckeinflusses. Die Zug- und Druckspannung ließ sich auch am gleichen Knochen darstellen, wenn wir zunächst indirekt die Drucklinien darstellten und dann denselben Knochen einer Zugbeanspruchung unterwarfen. Wir spannten also zunächst den frisch überzogenen Knochen ein, ließen ihn erkalten und stellten die Drucklinien dar. Bei erneuter Belastung des Schenkelkopfes traten nun auch die Zuglinien auf.

An der Fibula ließ sich am schönsten die Torsionsbewegung darstellen. Mit einer Hand hielten wir das Köpfchen der Fibula, nachdem der Ueberzug erkaltet war und drehten mit der anderen Hand am distalen Teil im Sinne einer Torsion. Schon bald traten die ersten spiralenförmigen Risse auf, die sich dann schnell vermehrten und nach oben hin weiter kreisten.

Ebenso ist es auch am Femurschaft möglich, schon mit der Hand einfache Biegungs- und Torsionsbrüche in der Harzschicht festzustellen.

Die Versuche, die wir anfangs häufig wiederholen mußten, um die günstigste Beschaffenheit der Harzschicht zu ermitteln und unbeabsichtigte Risse und Sprünge zu verhindern, konnten wir immer wieder mit den gleichen Knochen anstellen, nachdem sie eine halbe Stunde in Benzol gelegen hatten, welches die Harzschicht auflöste.

Schwierig war es, die Bruchlinien photographisch festzuhalten wegen der vielen Lichtreflexe, die sich auf der glatten Harzschicht spiegelten. Da auch unter Wasser nicht

alle Reflexe verschwanden, aber zuweilen neue Risse entstanden, oder feine Sprünge bei wärmerem Wasser wieder verliefen, photographierten wir die Knochen bei Tageslicht in einer Stellung, in der die Lichtflecke möglichst wenig störten.

All' diese Zug- wie Druckspannungslinien entstehen durch Trennung der Harzschicht, sind also Trennungsbrüche. Daher müssen die eigentlichen Spannungen senkrecht zu ihnen verlaufen. Nach dem Hook'schen Gesetz sind die Dehnungen direkt proportional den sie bewirkenden Kräften, also den Spannungen. Errichtet man auf den Dehnungslinien die Senkrechten, so entsteht das Bild des eigentlichen Kraftflusses im Knochen, das dem von Benninghof durch die Spaltlinienmethode gefundenen Bild fast völlig entspricht. So ist durch dieses Verfahren einmal der Verlauf der Spannungen im Knochen gekennzeichnet, aber gleichzeitig werden auch durch die Spannungsspitzen die Stellen festgelegt, die am stärksten beansprucht werden und gleichsam den locus minoris resistentiae anzeigen.

Daß die Dehnungslinien im Gegensatz zu den zackigen und krummen Sprüngen, die durch Erschütterung oder Kälte entstehen, alle gleichmäßig verlaufen, ist ein Zeichen dafür, daß im Knochen funktionelle Homogenität herrscht. Es müßten sonst bei dem feinen Reagieren des Harzüberzuges einerseits und dem unregelmäßigen morphologischen Bau andererseits die Risse an den foramina nutritia, an den verschiedenen Lamellenstrukturen und den Breccien auch unregelmäßige Sprünge zeigen, was aber selbst mikroskopisch (nach Küntscher) nicht der Fall ist. Nur in homogenen Körpern aber können bei der Deformation die Kraftlinien gleichförmig sein.

Die Kenntnis der genauen Lokalisation der Spannungen bei Spontanfrakturen, bei dynamischen Brüchen und bei der Therapie ist neben den biologischen Momenten gewiß lehrreich und wichtig. Daß gerade die Spannungsspitze die Stelle verminderter Resistenz bei vielen Erkrankungen anzeigt, soll im Folgenden noch dargelegt werden.

Das Spiel von Zug und Druck wirkt auf die Knochenzelle als formativer Reiz, der zum Abbau oder Anbau von Material anregt. Nach Jores ist Knochenneubildung am stärksten beim Optimum des Verhältnisses von Druck und druckfreien Perioden. Aendert sich also die Inanspruchnahme des Knochens, so wandelt sich auch die innere Architektur. Bei ständigem oder überwiegendem Druck erkrankt der Knochen. Noch schädlicher aber wirkt auf das Gewebe dauern-

der Zug, der im Knochen meistens als Biegebeanspruchung auftritt. Looser stellte bei Dauerbelastung Umbauzonen fest, die im Röntgen-Bild als streifenförmige Aufhellungen erschienen und mikroskopisch statt des gesunden, kalklosen und geflechtartigen Knochen zeigten. Wenn aber solche Umbauzonen bei mechanischer Einwirkung entstehen, so müssen gerade die Stellen, die den ersten Spannungsspitzen entsprechen, es sein, an denen ganz besonders eine Gewebsumbildung statt hat.

Erst kürzlich hat E. Schneider gezeigt, daß bei Mönchen, die viel stehen müssen und fasten, beziehungsweise vitaminarm leben, sich gerade an den ersten Spannungsspitzen ganz glatt begrenzte Aufhellungen im Schenkelhals bildeten, die dann zur Spontanfraktur führen können. Neben der Avitaminose sind es hier die dauernden mechanischen Reize, gegen die der Knochen sehr empfindlich ist.

Bei der coxa vara congenita setzt nach Walter die Scherbewegung den Reiz zum Umbau. Auch hier ist die Hauptbeanspruchung im Bereich der ersten Zugspannungsspitze. Diese Spannung hat Pauwels durch seine subtrochantere Osteotomie behoben und erreichte damit ein Verschwinden der Umbauzone.

Die röntgenkrystallographischen Untersuchungen von Henschen ergaben, daß der Feinbau des Knochens aus organischen und anorganischen Bestandteilen besteht. Letztere sind Krystalle von Carbonatapatit, Hydroxylapatit und Calcit. Erstere bestehen aus kollagenen Fasern, die er als krystallisierte Gele bezeichnet, und aus Knochenfasern, die in bestimmter Richtung orientiert sind und durch „ausgerichtete Gerinnung" eines Sols Parakrystalliten bilden. Wird nun das Knochengewebe erschöpft und weiter beansprucht, so können die Abfallschlacken nicht fortgeschafft werden. Die anorganischen Krystalle schwinden durch Osteolyse. Je länger diese mechanische Schädigung anhält, um so schlechter wird auch der Baustoff, der an die gefährdeten Stellen gebracht wird. Die Abweichungen vom idealen Raumgitter im Krystall werden größer und damit auch die Strukturempfindlichkeit gegen Wärme, Elektrizitätsleitung und besonders gegen überelastische, mechanische Eigenschaften der Festigkeit. Bei allmählichem Training wird im intakten Krystallgebiet die beginnende Gleitdeformation aufgefangen, abgeriegelt und verkittet und dadurch mechanisch gefestigt. Wird aber der Stützapparat zu sehr in Anspruch genommen, wie Asal es bei jungen Rekruten nachwies, so werden die Krystalle durch die

ungewohnte Reibung zerstört, vergleichbar einer Maschine mit neuen Kolben. Es entstehen die Marschfrakturen, die sich viel schneller als die Looser'schen Umbauzonen bilden und auch hier meistens an den Spannungsspitzen, besonders an der ersten Druckspannungsspitze und häufig am Tibiakopf unterhalb des Kniegelenkes auftreten.

Man darf wohl annehmen, daß überhaupt bei den osteomalazischen Erkrankungen die Stellen größter Spannung als erste ergriffen werden. Nur lassen sich praktisch die Spannungsspitzen z. B. bei Köhler I oder II schwer darstellen.

Bei direkt dynamisch entstehenden Frakturen läßt sich nie eine Gesetzmäßigkeit festlegen. Die Richtung, Art und Geschwindigkeit der Kraft und die Abwehrreaktionen und Reflexe der Extremität sind in jedem Falle zu verschieden. Sprung und Stoß belasten den Schenkelhals wohl am häufigsten. Diese Beanspruchung kann man auch mit Hilfe des Dehnungslinienverfahrens darstellen. In mehreren Versuchen ließen wir Gewichtstücke aus verschiedener Höhe auf den Schenkelkopf fallen. Das Femur hatten wir an den Kondylen festgeklemmt. Der Ueberzug hielt die Stöße, abgesehen von der Stelle, wo sie direkt auftrafen, gut aus. Die Dehnungslinien, die entstanden, zeigten sich an den gleichen Stellen, wie bei der statischen Belastung. Sie waren allerdings zahlreicher und länger, traten aber bei jedem Versuch ganz typisch auf, und diesen Linien entsprach auch der Bruch des Schenkelhalses, den wir durch Einspannen des Femur in einen Schraubstock erzielten; denn bei statischer Belastung bedarf es hierzu eines Gewichtes von 700 bis 1000 kg.

Bei Untersuchung von 39 Femurfrakturen fanden wir 8 mal einen medialen Schenkelhalsbruch im Bereich der ersten Spannungsspitze, 3 mal verliefen pertrochantere Brüche in Richtung der zweiten Spannungsspitze, 3 mal ging der Bruch durch die Druckspannungsspitze. Torsionsbrüche lagen fast regelmäßig in der Schaftmitte. So sind gewiß auch bei diesen dynamischen Brüchen die Spannungsverhältnisse nicht ganz ohne Bedeutung.

Ein großes, dichtes Spannungsbündel tritt stets bei Infraktionen auf, da hier eine Kerbwirkung vorliegt, die eine Spannungsspitze entstehen läßt, durch die schon oft eine unbemerkte Infraktion zur Gewebsverschlechterung und Spontanfraktur führte.

Für die Therapie der Knochenerkrankungen bedarf es oft mechanischer Maßnahmen, für die die Darstellung der

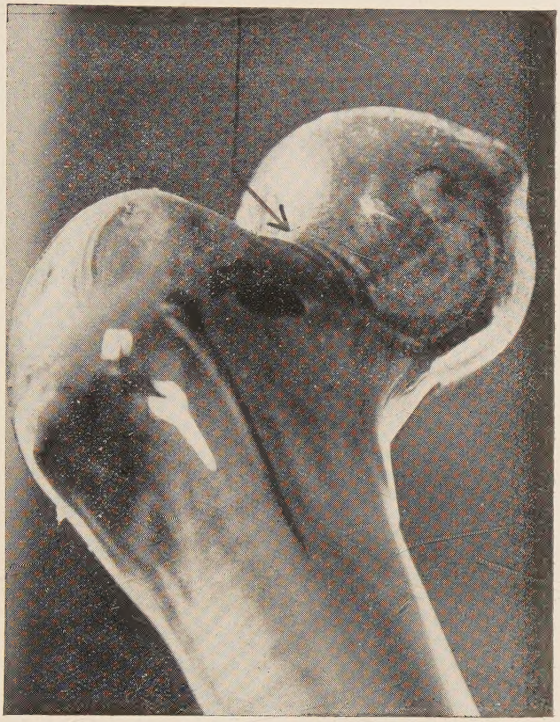
Angriffspunkte und der Richtung der Kräfte wichtig ist. Besonders empfindlich für Zug ist der Callus; und gerade bei Querbrüchen am Schaft kommt es häufiger zur Pseudarthrosenbildung als bei Schrägbrüchen. Denn jede Belastungsbeanspruchung wirkt im Sinne einer Biegung auf den Femurschaft, und die Spannungslinien verlaufen immer quer zur Schaftrichtung, liegen also genau in der Bruchrichtung und werden durch die Kerbwirkung einer schon in Heilung begriffenen Fraktur verstärkt, wenn der Knochen zu früh belastet wird. Daher heilt ein Schrägbruch häufig schneller, als ein auch ideal gestellter Querbruch. Bei der Klapp'schen Drahtextension ist darauf zu achten, daß nicht der Muskelzug durch zu starke Gewichte überwunden wird, damit die Fragmente stets leicht aufeinandergedrückt werden. Die an anderen Kliniken mitunter beobachtete Pseudarthrosenbildung bei Anwendung der Drahtextension oder der Drahtdistraktion liegt sicher an falsch angewandter Technik, denn Klapp selbst hat nur einmal bei Distraktion eine Umbauzone im Sinne Loosers gefunden bei einem Jungen, der schon vom ersten Tag der Fraktur an auftreten konnte. Die verzögerte Callusbildung und die Pseudarthrose läßt sich vermeiden, wenn die beiden Fragmente nach idealer Reposition wieder zusammengepreßt werden. Histologisch hat auch Mitterstiller bei Zugwirkung Bindegewebsbildung nachgewiesen. Bei Druck fand er Knorpel vor. Auch Klapp hat häufig auf die Wichtigkeit der Druckverhältnisse bei der Bruchheilung hingewiesen und in seinem „Klapp'schen Distraktionsapparat" ist eine solche Regulierung der verschiedenen Kräfte leicht möglich. Der Engländer Thomas pflegte die Fraktur von Zeit zu Zeit durch Beklopfen der Fußsohle mit einem Holzhammer zu beeinflussen. Um solchen rhythmischen Druck besser auf die Tibia wirken zu lassen, resezierte Mommsen sogar die Fibula. — Auch die Heilung des Schenkelhalsbruches ist nicht nur eine Frage der Ernährung, sondern auch der Mechanik. Bei mehr horizontalem Bruch steht die Bruchstelle unter dem Druck der Muskeln und der Statik und heilt meistens gut und schnell. Bei senkrechter Fraktur hingegen fällt die Bruchrichtung mehr oder weniger mit dem Verlauf der Spannungsspitze zusammen. Um diese aufzuheben, sind zahlreiche Methoden angegeben. Am einfachsten ist die Lagerung in Whitmann-Gips, da bei der starken Abduktion auch die Spannungsspitze fortfällt. Die subtrochantere keilförmige Osteotomie nach Pauwels, ebenso die Keilresektion nach Voß und die Verkeilung der Fragmente

dienen dazu, die mechanischen Verhältnisse günstig zu gestalten. Beim Smith-Peterson-Nagel ist die Scherkraft ganz aufgehoben, aber Druck- und Zugspitze sind noch in geringem Grade vorhanden, sodaß der Schenkelhals im unteren Teil an der Druckspannungsspitze fest wird und sich im Bereich der Zugspannungsspitze oberhalb des Nagels aufhellen kann.

Daß auch bei günstigster Stellung eine Fraktur zuweilen nicht heilt, während sie in schlechter Stellung sehr fest werden kann, spricht nicht gegen die erwähnten mechanischen Gesichtspunkte, sondern zeigt uns nur, daß auch außer der vorhandenen Ursache noch biologische Momente eine Rolle spielen und daß der Heilungsvorgang einer Fraktur ein kompletter Vorgang ist, der nie eine einseitige Lösung gestatten wird.

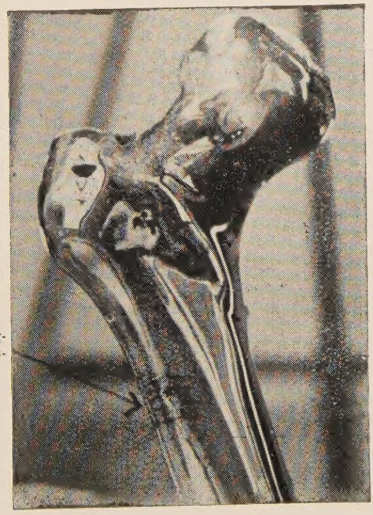
Es ist mir eine angenehme Pflicht, zum Schluß Herrn Professor Dr. Klapp für die Ueberlassung des Themas und das Interesse an den Versuchen, sowie Herrn Dr. med. habil. Hempel für die Liebenswürdigkeit, die Arbeit durchzusehen, meinen ergebensten Dank auszusprechen.

Erste Zugspannungsspitze

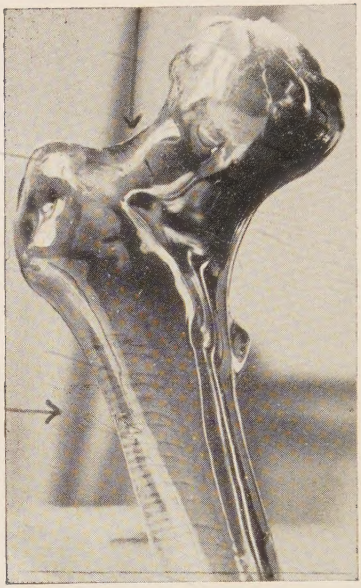


Statische Belastung des Femurkopfes mit 30 kg

Zweite Zug-
spannungs-
spitze



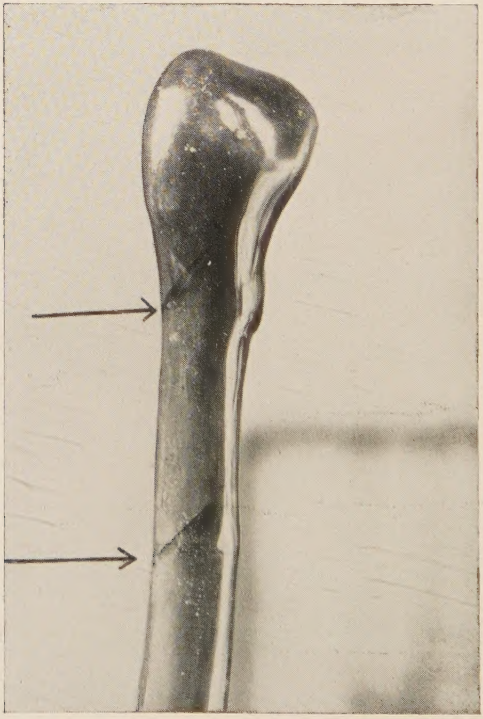
Vermehrte Belastung des Femurkopfes



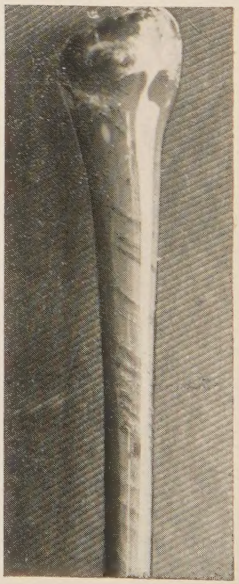
Die Dehnungslinien biegen in der Mitte des Schaftes nach unten ab

Darstellung der Zug- und Druckspannungslinien

Indirekte Darstellung der Druckspannungslinien, danach dynamische Belastung durch Fallenlassen eines Gewichtes auf den Schenkelkopf



Erste Spannungslinien bei geringer Torsion der Fibula



Bei vermehrtem Druck entstehen zahlreiche spiralenförmige Bruchlinien

Literaturverzeichnis.

Asal: Ueberlastungsschäden am Knochensystem bei Soldaten. Arch. f. kl. Chir. 186 XLIV.

Burckhardt: Der Mechanismus der Frakturenentstehung. Arch. f. kl. Chir. 185.

Hanauseck: Beitrag zum statischen Problem des Skeletts der unteren Extremität. Zeitschrift f. orthop. Chir. Bd. 34, S. 607.

Henschen: Röntgenkrystallographische Untersuchungen am Knochen. Arch. f. kl. Chir. 186.

Jores, L.: Experimentelle Untersuchung über die Einwirkung mechanischen Druckes auf den Knochen. Beitr. zur pathol. Anatomie und zur allg. Pathol. Bd. 66, S. 434.

Klapp: Knochenbruchbehandlung mit Drahtzügen.

Krompecher: Grundprinzipien der Knochenbruchbehandlung. Ztr. Organ f. Chirurgie.

Küntscher, G.: Die Darstellung des Kraftflusses im Knochen. Zentralblatt f. Chir. 1934, Nr. 37.

--- — Ueber den Nachweis von Spannungsspitzen am menschlichen Knochengerüst. Beitr. zur Anatomie funkt. Systeme, Bd. 2, Heft 3.

— — Die Bedeutung der Darstellung des Krafflusses im Knochen für die Chirurgie. Arch. f. klin. Chir. 182 (1935).

— — Der Einfluß von Zug- und Druckkräften auf die Bruchheilung. Der Chirurg. VIII, Heft 11, 1936.

Martin: Ueber experimentelle Pseudarthrosenbildung und der Bedeutung von Periost und Mark. Arch. f. kl. Chir. 114.

Schneider, E.: Leistungssteigerung durch regulatorische Zellstimulation. Arch. f. kl. Chir. 186.

Lebenslauf.

Als Sohn des praktischen Arztes Dr. Franz Lackmann und seiner Ehefrau Elisabeth geb. Dieckhoff wurde ich am 27. April 1913 in Wolbeck in Westfalen geboren. Dort besuchte ich vier Jahre die Volksschule, drei Jahre fuhr ich zum Progymnasium nach Rietberg und machte nach weiteren sechs Jahren an der damaligen deutschen Auslandsschule in Feldkirch (Vorarlb.) mein Abitur. Nach drei Semestern in Marburg und zwei Semestern in Greifswald bestand ich dort das Physikum. Im 6. Semester war ich in München, im 7. in Marburg, im 8. in Freiburg, im 9., 10. und 11. Semester wieder in Marburg. Im Dezember 1937 bestand ich hier das Staatsexamen und bin als Praktikant am Pathologischen Institut tätig.

Meine akademischen Lehrer waren:

in Marburg:
Alverdes, Baumann, Baur †, Becher, Boeminghaus, Claussen, Dittler, Enke, Freudenberg, Geßner, Goeppert, Grüneisen, Grüter, Jakobshagen, Kehrer, Kestermann, Klapp, Klewitz, Kretschmer, Loebell, Meerwein, Neumann, Nauck, Pfannenstiel, Ruete, Schrader, Schwenkenbecher, Uffenorde, Versé, Westphal, Winkler.

in Greifswald:
Peter, Pfuhl, Steinhausen, Wrede.

in München:
Borst, von Seemen, Stepp, von Zumbusch.

in Freiburg:
Giese, Hauptstein, Jahn, Jansen, Schneider, Siegert, Viethen.